12 V AC アダプタが電源，Op アンプ駆動

6H8CPP エコアンプの製作

■池田　敏弘■

エコな真空管アンプを

0バイアス駆動プッシュプル方式の真空管 OTL アンプにより低消費電力を実現し，暑い夏でも OTL サウンドを楽しめるようになりました．大音量を鳴らせない夜間においては，よりエコな回路仕様で小音量ながら聴かせてくれる真空管アンプが望まれます．

前述の内容を満たすアンプとしては，2005年8月号で発表の「3A5 PP アンプ」や2005年12月号発表の「6H8CPP アンプ」などが挙げられます．いずれも +12 V という低い B 電圧の電源仕様に関わらず，聴感パワーに優れた真空管アンプに仕上がり，物理的なパワー値だけでは決まらない実使用レベルでの出力特性の重要性と，真空管アンプの聴感パワーの魅力とを認識させてくれました．

といっても，過去に製作した前述のアンプをそのまま使用するのでは進歩がありません．そこで，今回は一般市販の AC アダプタを電源として動作する真空管アンプを設計/製作させていただきました．

(1) +12 V で動作

第1図に基本回路を示します．Op アンプによる非反転増幅と反転増幅器とを組み合わせ，3極管 PP 回路を直結でドライブします．NFB は Op アンプ・ブロックでクローズとし，真空管の動作ポイントを安定にします．3極管は無帰還動作となり，3極管と出力トランスとの出力段の特性そのものが音色に表われる仕様となっています．

+12 V 動作とすることで，一般家庭での使用だけでなく，カー・バッテリーでも動作可能となりますので，真空管式カー・ステレオへの展開も可能です．

今回のアンプは，先述の6H8C PP アンプをベースに，電圧利用率の改善を図り，物理的最大出力の向上と取扱いの手軽さとを実現しました．

(2) レール to レール Op アンプ駆動

前回の6H8C　PP アンプの物理的最大出力は，両 ch 8 Ω負荷で約 40 mW + 40 mW となっていました．クリップは出力段ではなく，電圧増幅段である Op アンプ側で発生しています．したがって，電圧利用率のよい Op アンプに変更することで，物理的最大出力の増大を実現できるはずです．

電圧利用率のよい Op アンプとして，2006年5月号発表の携帯真空管アンプで使用した LM 2904 などがあります．ただし，ある振幅以上になりますと，バイアス電流不足から内部回路下側のトランジスタがオンする瞬間クロスオーバひずみが発生する現象があり，出力～ GND 間に外付け抵抗を追加する処置を必要としました．詳細は，2006年5月号に記載していますので，こちらをご覧ください．

今回は，出力が大きく電源電圧と GND 間（フル・スイング）を振れる特長を持つレール to レール Op アンプを使用することにしました．

レール to レール Op アンプの内部回路概要を**第1図**に示します．従来の Op アンプと異なる点は，単一バッファ出力段を使用しないところにあります．出力振幅をフル・スイングさせるため，出力を積分器の出力から直接に取り出しています．これまで，バッファは負荷に電力を供給する一方で，Op アンプの高利得，安定性を維持し，電源ラインの

いずれかへの短絡に耐えなければならず，これらの役割を積分器が担うことになります．

積分器は専用ユニティ・ゲイン補償ドライバによって，順方向に（C_f，C_{ff}を介して）2倍でフィードされ，埋込型利得段を備えた融合タイプとなります．さらに，積分器の出力段は大きな負荷に給電するために，PP構成になっています．

(3) +12V単一電源仕様

前回は電源にPC用ATX電源を用い，HDDなど向けの4P電源ケーブルからとりました．今回は，より手軽に真空管アンプを楽しめるように，+12V単一電源仕様としました．Lch側，Rch側の真空管のヒータをシリーズ接続とし，ヒータ電圧もB電圧も+12Vとすることで，単一電源化が可能となります．

これにより，一般市販ACアダプタを電源とした真空管アンプが実現でき，手軽に真空管サウンドを楽しめます．

回路のあらまし

第2図に今回の増幅部の回路図を示します．

電圧増幅段には，レールtoレールOpアンプ：ナショナル・セミコンダクタ製LMC662，CMOSデュアルOpアンプを使用しました．現在，入手しやすく価格もリーズナブルな部品です．1個のOpアンプで非反転増幅器側と反転増幅器側とを受け持ちます．

出力管には，前回も使用した双3極管：6H8C（6SN7）を用いました．増幅度μは中程度の電圧増幅管です．ブランドにこだわらなければ，こちらも入手しやすく価格もリーズナブルな球です．無帰還で使用しますので，ペア性の確認されたものを使用されることをお奨めします．

出力トランスは，1次側インピーダンスが2kΩあたりのCT（センター・タップ）付きのものがよいのですが，市販汎用品にはないようなので，ここ大阪・日本橋で入手容易な低コスト，ハイ・パフォーマンスな小型トランスDEGIT製ET-32（1.2kΩ：8Ω）を使用しました．橋本製ST-32も使用可能です．

ET-32は周波数スペクトラムが中低域にある再生音のイメージで，ST-32は中高域にあるイメージがあります．

LMC662のバイアス電圧を決める抵抗値比は，(33+10+3.3) kΩ：39kΩとなっています．前記設定により振幅波形はほぼ上下対称にクリップします．

電圧ゲインをもたせたいときは，非反転増幅器のNFB抵抗値39kΩを大きくします．このときDCオフセット安定のため，非反転増幅器の非反転入力の信号源抵抗もNFB抵抗と同じ値を使用します．

ここで，トータルの電圧ゲインAを考えてみます．

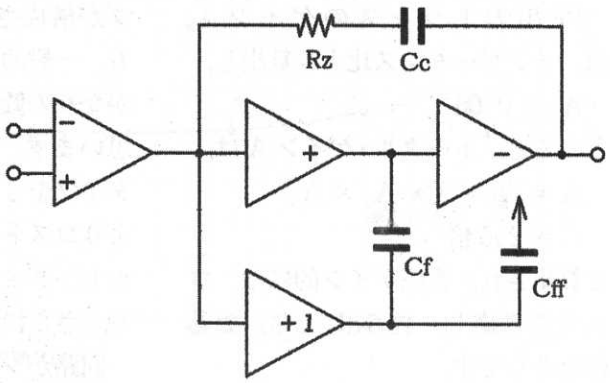
低電圧駆動部のゲインはOpアンプに接続された帰還抵抗により決定されます．非反転増幅器のゲインA_1は，つぎの式で表わされます．

$A1 = (3.9k+39k)/3.9k = 11$

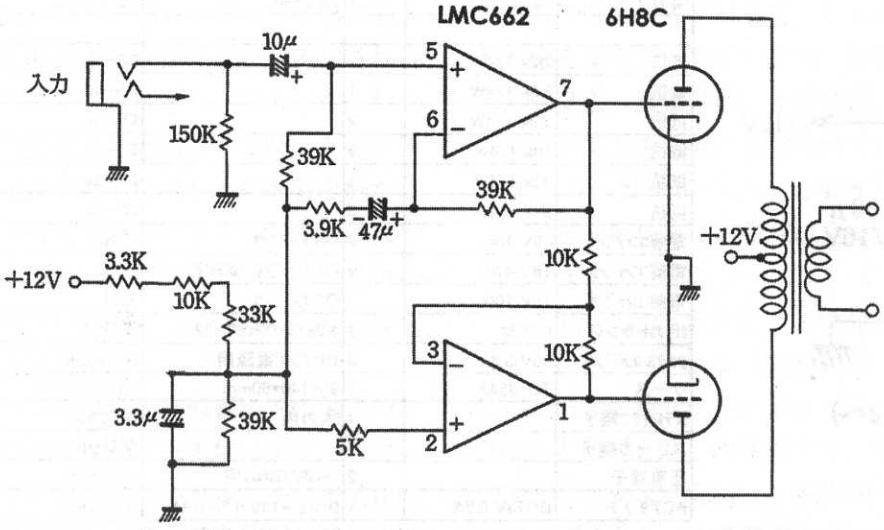
反転増幅器のゲインは−1となり，倍となります．3極管出力段のゲインA2は，つぎの近似式で表されます．

$A2 = (\mu \cdot RL_1)/(RL_1+rp)$
$= (20\times0.6k)/(0.6k+7k)$
$= 1.5$

（μ：6H8Cのμ
RL1：6H8Cの負荷，出力トランス1次側CTインピーダンス
rp：6H8Cのr_p）



〈第1図〉今回ドライブ段に用いたナショナル・セミコンダクタ製のLMC662の内部回路構成



〈第2図〉12VACアダプタを電源とした6H8CPPアンプ回路

PP出力トランスのゲインA_3は，インピーダンス比より算出し，

$A_3 = 0.08$

とすると，トータル・ゲインAは，

$A = A_1 \times 2 \times A_2 \times A_3$

$= 2.6$倍

と算出され，電圧ゲイン的には，ロス分を考慮し，約6dB（2倍）で動作しそうです．

つぎに本機の電源部回路を**第3図**に示します．+12Vの大もとには市販ACアダプタを使用しました．仕様は，入力：100V 60/50Hz 20VA，出力DC 13V/700mAというものです．

ACアダプタから出力される非安定なDC電圧をそのまま両ch用6H8Cのヒータ電圧に使用します．6H8CのB電圧とOpアンプの入力バイアス設定抵抗には，2SD1266によるフィルタを介し，安定な電圧を供給しています．非安定のまま使用しますと，ハム・ノイズが現われるため，トランジスタによるフィルタでリップルを除去しています．

製作と調整

アンプの部品表を**第1表**に示します．部品点数は非常に少なく，これだけの部品で真空管パワー・アンプが構成されています．予算的にも，一般的な真空管アンプに比べてかなりの低コストに収まっていると思います．Opアンプはデュアル・タイプを2個使いとしていますが，よりコストを抑えたいかたは，クァッド・タイプにすると1個使いとなり，さらにコストが抑えられます．

回路がシンプルであるため，部品は空中配線に近い形で実装しています．電圧増幅部はICソケットに周辺抵抗やコンデンサを実装した形になっています．出力管ブロックはGT8Pソケット端子を利用しています．

組立・配線が完了したら，回路図どおりに，確実に配線されているかを十分確認してください．テスターで各接続個所の導通を確認されるといいでしょう．調整個所はありませんので，配線誤りなど実装不具合が無ければ，即，音楽を楽しめます．

電気特性

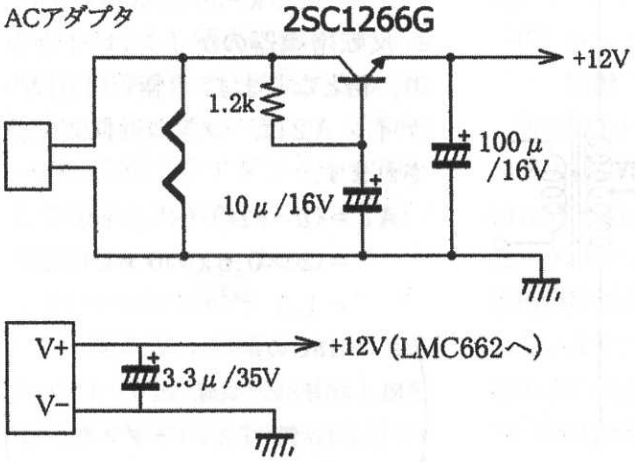
製作したアンプの周波数特性を**第4図**に示します．46Hz～78kHz +1，−3dB以内となっています．Lch，Rch各レスポンス特性はほぼ同じとなっていました．

方形波レスポンスは，42kHz付近にピークがあるため，1kHzや10kHzの出力波形をみますと，オーバシュートやアンダシュートが見られます．

雑音ひずみ率特性を**第5図**に示します．雑音ひずみ率は，400Hz HPFをONにしても変化はほとんどなく，ハムなどのノイズはありません．低電圧無帰還アンプのため，雑音ひずみ率は3%強と比較的大きな値となっています．

両ch 8Ω負荷で最大出力は約50mW＋50mWとなっています．前回の6H8CPPに比べ，出力が約25%上がっています．レールtoレールOpアンプ採用の効果が現われています．

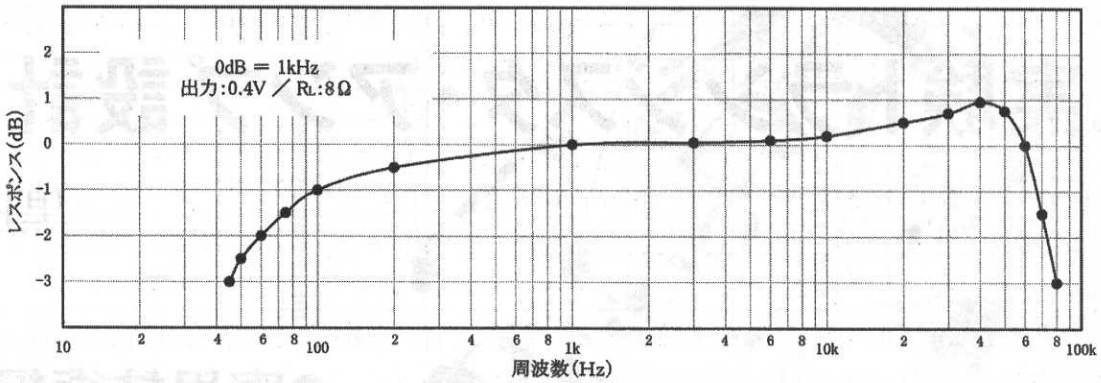
0バイアス駆動PP方式の真空管OTLと違い，無帰還出力トランス方式の真空管アンプは各物理特性に個性が見られます．再生される音が楽しみです．



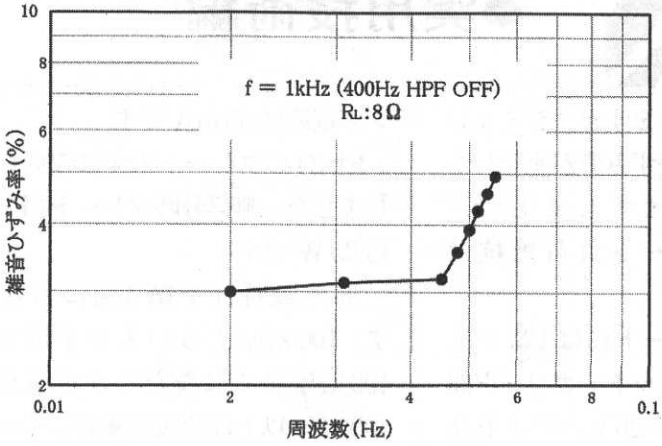
〈第3図〉6H8Cアンプの電源部回路

〈第1表〉本機の主要部品一覧表

品名	品番	員数	備考	メーカー/販売
IC20Pソケット		1	OPｱﾝﾌﾟ用	ﾊﾟｰﾂﾗﾝﾄﾞ
OPアンプ	LMC662	2	ﾃﾞｨｯﾌﾟ	NS/共立電子
双3極管	6H8C	2	6SN7代用可能	SOVTEK
GT8Pソケット		2	6H8C用	東京真空管
NPN Tr	2SD1266 Q	1	ﾌﾙﾓｰﾙﾄﾞ	Panasonic
抵抗	1.2k 1/4W	1		ローム
抵抗	3.3k 1/4W	1		ローム
抵抗	3.9k 1/4W	2		ローム
抵抗	10k 1/4W	9		ローム
抵抗	33k 1/4W	1		ローム
抵抗	39k 1/4W	5		ローム
電解ｺﾝﾃﾞﾝｻ	16V 10u	3	OSｺﾝﾃﾞﾝｻ	三洋
電解ｺﾝﾃﾞﾝｻ	16V 47u	2	OSｺﾝﾃﾞﾝｻ NFB用	三洋
電解ｺﾝﾃﾞﾝｻ	16V 100u	1	OSｺﾝﾃﾞﾝｻ	三洋
出力トランス	ET-32	2	1.2k/8・PP(ST-32)	デジット
ﾀﾝﾀﾙｺﾝﾃﾞﾝｻ	35V 3.3u	3	OPｱﾝﾌﾟ電源用	ﾊﾟｰﾂﾗﾝﾄﾞ
ケース	TD-354A	1	95*140*60mm	ﾃｲｼﾝ/ﾃﾞｼﾞｯﾄ
ｽﾃﾚｵﾐﾆ端子		1	入力用	ﾊﾟｰﾂﾗﾝﾄﾞ
スピーカ端子		1		デジット
圧着端子		2	+12V/GND用	ﾊﾟｰﾂﾗﾝﾄﾞ
ACｱﾀﾞﾌﾟﾀ	DC13V 0.7A	1	DC12～13V 0.7～0.9A	デジット



〈第4図〉
本機の周波数特性



〈第5図〉
本機のひずみ率特性．最大出力はほぼ50 mW

iPodで試聴

このエコ真空管アンプの試聴を，Apple iPodを使って行いました．スピーカは，例によってアルテックCD 408-8 A（20 cm同 軸，SONY SS-7090箱入り，バスレフ），アルテックCF 204-8 A（10 cm，TEAC S-70箱入り，後面バスレフ）です．

50 mWの微小出力のアンプですが，音楽を再生しますと，3極管PP特有の力強い聴感パワーが感じられます．雑音ひずみ率が3%強と比較的大きな値ですが，再生される音にひずみは感じられません．むしろ心地よく感じさせるハーモニクス系ひずみのためか，再生音を豊かにさせてくれているようです．最大出力50 mW + 50 mWのアンプから再生されているとはまったく想像つきません．

これなら，一般家庭での通常のレベルではパワー不足は感じられないでしょう．ゼネラル・オーディオ向けの出力トランスを使用しているにも関わらず，低域もそこそこ出ています．

電源に市販ACアダプタを使用しましたが，無信号再生時，ハムなどのノイズは聴こえず，低雑音アンプに仕上がっています．

高能率（98 dB：1 W・1 m）のCD 408-8 Aスピーカから再生される音はすばらしいです．さすがに同じ0バイアス駆動PP方式といっても，OTLに比べますと，音楽信号の正確な再生能力では劣っていますが，ただ音を鳴らすのではなく，しっかり音楽を奏でてくれています．打楽器，弦楽器，鍵盤楽器，木管楽器，いずれの楽器も明確に奏でられています．ボーカルについても生々しく，低域～高域まで広帯域に奏でられています．

CD 408に比べますと少し物足りないイメージとなりますが，CF 204-8 A（95 dB：1 W・1 m）でも，10 cmとは思えない再生音です．どの楽器も音声も明確に，一般市販ミニコンポよりしっかり音楽が奏でられています．手の平サイズの外観と再生される聴感パワーある音楽とのミスマッチから，目と耳とを疑ってしまいます．

前回より少しパワーアップしたこともあり，これならパーソナル・ユース真空管アンプとして手軽に取り扱えます．

関西の自作愛好家や音楽愛好家のかた，関西"手作りアンプの会"関係の方にも聴いていただきましたが，ちょっとした視聴覚室や例会場所などでアルテックCF 404-8 AやJBLコンパクト・モニタなどでも行いました．

聴いていただいたかたからは，「聴感パワーがありますね」，「ほんとうに最大出力50 mW + 50 mWのアンプなんですか」「何で+12 V程度の小さな電圧からこんな聴感パワーが出るんや」など，私と同様なご意見，ご感想をいただきました．

+12 V動作6H8C・PPアンプは，さらに，GT管の外観とヒータ点灯がわかる視覚的要素も持つ製作容易な無調整・真空管ミニアンプです．この暑い夏，手軽に扱えることもあり，休日は音楽再生にフル稼働状態となっています．

●ホームページ：http://www.geocities.jp/seychelle_7/